

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102907180 A

(43) 申请公布日 2013. 01. 30

(21) 申请号 201180019903. 9

(22) 申请日 2011. 06. 03

(30) 优先权数据

61/352, 779 2010. 06. 08 US

61/362, 232 2010. 07. 07 US

13/111, 334 2011. 05. 19 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2012. 10. 19

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/039182 2011. 06. 03

(87) PCT申请的公布数据

W02011/156239 EN 2011. 12. 15

(71) 申请人 应用材料公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 哈密迪·塔瓦索里 道平·周

沙恩·C·尼维尔

道格拉斯·A·布池贝尔格尔

费纳多·M·斯李维亚

巴德·L·梅斯 蒂娜·琼

科坦·马哈德斯瓦拉萨瓦米

亚莎斯维尼·B·帕特 达·D·源

沃特·R·梅丽

(74) 专利代理机构 北京东方亿思知识产权代理
有限责任公司 11258

代理人 柳春雷

(51) Int. Cl.

H05H 1/24 (2006. 01)

H05H 1/46 (2006. 01)

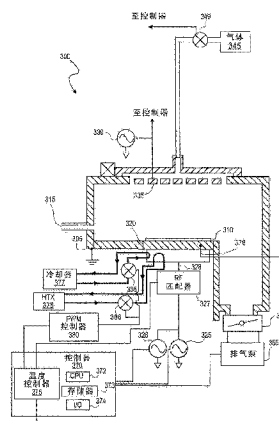
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 10 页

(54) 发明名称

使用脉冲传热流体流动的等离子体处理设备
中的温度控制

(57) 摘要

本发明描述通过脉冲式施加加热功率和脉冲式施加冷却功率来控制等离子体处理腔室中的温度的方法和系统。在实施例中，温度控制至少部分地基于前馈控制信号，前馈控制信号源自输入到处理腔室中的等离子体功率。在另一实施例中，部分地通过耦接两个储器的被动平衡管，来维持热储器与冷储器各自的液位，两个储器耦接至温度受控部件。在另一实施例中，随着取决于加热/冷却工作循环值和比例循环的脉冲宽度，打开数字式传热流体流量控制阀，比例循环具有提供良好温度控制性能的持续时间。



1. 一种等离子体处理装置,其包括:
处理腔室,其包括夹盘,所述夹盘构造成在处理期间支撑工件;
处于第一温度的第一传热流体储器;
处于第二温度的第二传热流体储器;
第一供应管线和第一回流管线,所述第一供应管线和所述第一回流管线将所述第一传热流体储器和所述第二传热流体储器耦接至所述夹盘,以将处于所述第一温度或所述第二温度的传热流体传送到所述夹盘;
使所述第一传热流体储器与所述第一供应管线耦接的第一阀,以及使所述第二传热流体储器与所述第一供应管线耦接的第二阀;和
被动平衡管,其将所述第一传热流体储器耦接至所述第二传热流体储器,以通过重力来平衡传热流体液位。
2. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述被动平衡管耦接至所述第一传热流体储器和所述第二传热流体储器中每一者的排放点。
3. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,第三阀将所述第一回流管线耦接至所述第一传热流体储器,所述被动平衡管将负责经由所述第一阀供应至所述夹盘的传热流体的量与从所述夹盘经由所述第三阀返回的传热流体的量之间的不平等。
4. 根据权利要求 1 所述的装置,其中,所述第一阀和所述第二阀为数字式,并且其中,所述装置还包括用以调节脉冲宽度调制工作循环的控制器,所述控制器在全开状态和全关状态之间驱动所述第一阀和所述第二阀中的至少一者,并且其中,当所述第一阀和所述第二阀中的一者处于打开状态时,所述第一阀和所述第二阀中的另一者将处于关闭状态。
5. 根据权利要求 4 所述的装置,其中,所述控制器将所述脉冲宽度调制工作循环调节为时间比例循环的一百分比,所述时间比例循环比改变阀的状态所需要的时间长不止一个数量级。
6. 根据权利要求 5 所述的装置,其中,所述时间比例循环的持续时间小于所述夹盘的热时间常数的一半。
7. 根据权利要求 6 所述的装置,其中,所述时间比例循环的持续时间在 4 至 6 秒之间。
8. 根据权利要求 5 所述的装置,其中,所述第一供应管线的内部容积小于在所述时间比例循环期间输送的传热流体的体积。
9. 根据权利要求 1 所述的装置,还包括流动旁管,所述流动旁管在所述第一传热流体储器和所述第一阀之间,其中,传热流体按照在 1 : 0.8 和 1 : 0.2 之间的第一阀与旁管比率、经由所述流动旁管返回到所述第一传热流体储器。
10. 根据权利要求 1 所述的装置,还包括用以调节脉冲宽度调制工作循环的控制器,所述控制器至少基于施加到等离子体的总功率在全开状态和全关状态之间驱动所述第一阀和所述第二阀中的至少一者,所述总功率至少是第一偏压功率和第二偏压功率的加权总和,所述第一偏压功率来自在约 2MHz 和 60MHz 之间操作的射频产生器,所述第二偏压功率来自在约 2MHz 和 60MHz 之间操作的射频产生器。
11. 一种等离子体处理装置,其包括:
处理腔室,其包括夹盘,所述夹盘还包括:
陶瓷定位盘,其提供工作表面,在处理期间工件放在所述工作表面上;

第一传热流体通道和第二传热流体通道,所述第一传热流体通道和所述第二传热流体通道设置在所述陶瓷定位盘下方的金属基底中,其中,所述第一传热流体通道设置在所述工作表面的外部区域下方,所述第二传热流体通道设置在所述工作表面的内部区域下方;

光纤温度探针,其设置成穿过所述金属基底,所述光纤温度探针与所述陶瓷定位盘的所述工作表面相距 5mm 或更小;

处于第一温度的第一传热流体储器,所述第一传热流体储器经由第一供应阀耦接至所述第一传热流体通道并且经由第二供应阀耦接至所述第二传热流体通道;和

处于第二温度的第二传热流体储器,所述第二传热流体储器经由第三供应阀耦接至所述第二传热流体通道并且经由第四供应阀耦接至所述第二传热流体通道。

12. 根据权利要求 11 所述的装置,其中,所述陶瓷定位盘的厚度在 4mm 至 10mm 之间,并且其中,所述温度探针与所述工作表面相距所述陶瓷定位盘的整个厚度。

13. 根据权利要求 11 所述的装置,其中,所述陶瓷定位盘的厚度在 20mm 至 30mm 之间,并且其中,所述温度探针嵌入所述陶瓷定位盘的与所述工作表面相反的背侧中而与所述工作表面相距 3 至 5mm。

14. 一种控制等离子体处理装置中的夹盘的温度的方法,所述方法包括如下步骤:

提供处于第一温度的第一传热流体,所述第一传热流体经过第一供应管线和第一回流管线而到达所述夹盘,所述第一供应管线和所述第一回流管线将所述夹盘耦接至第一传热流体储器;

提供处于第二温度的第二传热流体,所述第二传热流体经过第二供应管线和第二回流管线而到达所述夹盘,所述第二供应管线和所述第二回流管线将所述夹盘耦接至第二传热流体储器;

控制第一阀和第二阀,所述第一阀使所述第一传热流体储器与所述第一供应管线耦接,所述第二阀使所述第二传热流体储器与所述第二供应管线耦接;并且

通过使所述第一传热流体或所述第二传热流体流过被动平衡管,来使得所述第一传热流体储器的液位与所述第二传热流体储器的液位相等,所述被动平衡管将所述第一传热流体储器耦接至所述第二传热流体储器。

15. 根据权利要求 14 所述的方法,还包括:

调节脉冲宽度调制工作循环,以在全开状态和全关状态之间驱动所述第一阀和所述第二阀中的至少一者,以使得当所述第一阀和所述第二阀中的一者处于打开状态时,所述第一阀和所述第二阀中的另一者将处于关闭状态。

使用脉冲传热流体流动的等离子体处理设备中的温度控制

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2010 年 1 月 29 日提交的名称为“FEEDFORWARD TEMPERATURE CONTROL FOR PLASMA PROCESSING APPARATUS”的美国临时专利申请 61/299,818;2010 年 6 月 8 日提交的名称为“PULSED-COOLING CHILLER FOR PLASMA PROCESSING APPARATUS”的美国临时专利申请 61/352,779;和 2010 年 7 月 7 日提交的名称为“TEMPERATURE CONTROL IN PLASMA PROCESSING APPARATUS USING PULSED HEAT TRANSFER FLUID FLOW”的美国临时专利申请 61/362,232;以及 2010 年 5 月 19 日提交的名称为“TEMPERATURE CONTROL IN PLASMA PROCESSING APPARATUS USING PULSED HEAT TRANSFER FLUID FLOW”的美国专利申请 13/111,334 的优先权,这些专利申请的全部内容通过引用结合于本说明书中。

技术领域

[0003] 本发明实施例一般地涉及等离子体处理设备,且更具体地涉及在利用等离子体处理腔室处理工件期间控制温度的方法。

背景技术

[0004] 在等离子体处理腔室中(例如等离子体蚀刻或等离子体沉积腔室),腔室部件的温度往往是处理期间进行控制的重要参数。例如,基板固持件(通常称作夹盘或基座)的温度经控制以在处理配方期间将工件加热/冷却到各种受控温度(例如,用以控制蚀刻速度)。同样地,在处理配方期间还可控制喷淋头/上电极或其它部件的温度而影响处理结果。通常,散热器和/或热源耦接至处理腔室,以将腔室部件温度控制在所要温度。控制器(如 PID(比例积分微分)控制器)用来反馈控制温度受控部件与散热器/热源间的传热。除非使用够大的积分器,否则简易反馈控制会产生稳态误差。在简易比例控制中,因外部扰动所致,总是会有稳态误差(除非比例增益为无限大)。但是使用大积分控制将造成大量过冲的不良瞬态现象且需要很长的稳定时间。不像质量流量控制器(MFC)响应时间短而只需数秒即能收敛到设定点,当等离子体处理期间由于夹盘的大量热质量等而受到扰乱时,腔室部件温度(如静电夹盘或喷淋头温度)需 30 秒或更长才能稳定。如此,为更快速补偿扰动,反馈控制器可采用大积分值,而这会产生温度控制更不稳定的不利副作用。

[0005] 另外,为适应日益复杂的膜叠层(film stack)结构,许多等离子体处理会在同一处理腔室内使工件暴露在一些连续等离子体条件下。此种原位配方操作(在单一制造设备内进行、而非在单独调整的系统中进行)需大范围温度设定点。

[0006] 因此,期望有一种等离子体处理腔室的温度控制构造,此构造能改善稳定性及提供改进的瞬态响应,且受到扰乱时有较小的稳态误差。

发明内容

[0007] 本发明描述通过脉冲式施加加热功率和脉冲式施加冷却功率来控制等离子体处理腔室中的温度的方法和系统。在实施例中,温度控制至少部分地基于前馈控制信号,前馈

控制信号源自输入到处理腔室中的等离子体功率。在另一实施例中，部分地通过耦接两个储器的被动平衡管，来维持热储器与冷储器各自的液位，两个储器耦接至温度受控部件。在另一实施例中，随着取决于加热 / 冷却工作循环值和比例循环的脉冲宽度，打开数字式传热流体流量控制阀，比例循环具有提供良好温度控制性能的持续时间。在其它实施例中，温度受控夹盘中的陶瓷定位盘的厚度缩减成小于 10 毫米 (mm)，以提供良好匹配比例循环持续时间的热时间常数，进而提供快速的温度控制响应时间。

附图说明

[0008] 说明书的发明内容部分已特别指出及清楚主张本发明的实施例。但是，本发明的实施例的组织与操作方法、和其目的、特征与优点在配合参考详细说明与附图后，将变得更明显易懂，其中：

[0009] 图 1 为根据本发明的实施例的温度控制系统的方块图，温度控制系统包括前馈与反馈控制组件；

[0010] 图 2 图示根据本发明的实施例在处理配方的多个步骤中的夹盘温度，其中输入处理系统的等离子体功率和温度设定点改变；

[0011] 图 3A 为根据本发明的实施例的等离子体蚀刻系统的示意图，等离子体蚀刻系统包括耦接至工件支撑夹盘的基于传热流体的热源和基于传热流体的散热器；

[0012] 图 3B 图示根据本发明的实施例的用于图 3A 的等离子体蚀刻系统中的基于传热流体的热源 / 散热器的阀与管道示意图；

[0013] 图 3C 图示根据本发明的实施例的在图 3B 所示的基于传热流体的热源 / 散热器的热与冷传热流体储器之间延伸的被动均衡线路；

[0014] 图 3D 图示根据本发明的实施例的脉冲宽度调制中的时间比例，用以控制图 3B 中所示的管道示意的阀 385、386 的工作循环；

[0015] 图 3E 图示根据本发明的实施例的脉冲宽度调制中的时间比例，用以控制图 3B 中所示的管道示意的阀 385、386；

[0016] 图 3F 图示根据本发明的实施例的夹盘组件，夹盘组件包括用于图 3A 所示的蚀刻系统的薄定位盘 (puck)；

[0017] 图 3G 图示根据本发明的实施例的夹盘组件，夹盘组件包括用于图 3A 所示的蚀刻系统的厚定位盘；以及

[0018] 图 4 为根据本发明的一个实施例的结合于图 3 所示的等离子体蚀刻系统中的示例计算机系统的框图。

具体实施方式

[0019] 以下将详述众多特定细节，以对本发明实施例有更深入的了解。但是，本领域技术人员将理解其它实施例也可不以这些特定细节实施。在其它例子中，不详述已知的方法、程序、部件和电路，以免让本发明变得晦涩难懂。以下一些详述部分是在计算机存储器内对数据位或二进数字信号进行操作的算法和符号的形式来呈现的。算法描述和表示是数据处理领域的技术人员将其工作内容传达给本领域其他技术人员所使用的技术。

[0020] 算法或方法在此一般地视为导向预期结果的自洽 (self-consistent) 动作或操

作序列。这些包括物理量的物理处理。通常但非必要地,这些物理量采取能被储存、传送、组合、比较及以其它方式处理的电或磁信号形式。有时方便起见,主要是基于常见用法,将这些信号称作位 (bit)、量值、组件、符号、字符、用语、等级、数字等。但是,应理解这些和类似用语与适当物理量有关,且只是用于这些物理量的方便标示。

[0021] 从下述清楚可知,除非特别指明,否则应理解整篇说明书所用如“处理”、“运算”、“计算”、“确定”等用语指计算机或运算系统或类似电子运算装置的动作和 / 或处理,这些计算机或运算系统或类似电子运算装置对在运算系统的寄存器和 / 或存储器内的被表示为物理 (电子) 量的数据进行处理和 / 或转换成在运算系统的存储器、寄存器或其它信息储存、传输或显示装置内的类似地表示为物理量的其它数据。

[0022] 本发明的实施例可包括用于进行所述操作的设备。设备可特别构造成用于期望目的,或者设备可包含由装置中储存的程序选择性启动或重构的通用运算装置。程序可储存在非暂时性储存介质,例如但不限于,包括软盘、光盘、光盘只读存储器 (CD-ROM)、磁光盘、只读存储器 (ROM)、随机存取存储器 (RAM)、电子可编程只读存储器 (EPROM)、电子可抹除可编程只读存储器 (EEPROM)、磁或光卡等任何磁盘类型,或任何其它适于以非暂时性方式储存电子指令且能耦接至运算装置的系统总线的介质类型。

[0023] “耦接”与“连接”和其派生用语在此用来描述部件间的结构关系。应理解这些用语非同义词。相反,在特定实施例中,“连接”指两个或更多个组件彼此直接物理或电气接触。“耦接”指两个或更多个组件彼此直接或间接 (二者间插入其它组件) 物理或电气接触,和 / 或两个或更多个组件互相合作或相互作用 (如呈因果关系)。

[0024] 本文所述的控制处理或腔室部件温度的方法和系统的实施例通过前馈控制线来提供温度控制作用 (control effort),前馈控制线产生前馈控制信号,前馈控制信号补偿扰动传递函数。更特别地,前馈控制传递函数优选为和扰动传递函数的大小相等且方向相反,以抵消对受控制温度的扰动。在进一步的实施例中,前馈控制信号增加到反馈控制作用,使反馈回路被要求提供较小控制作用而容许比无前馈控制信号时更小的反馈增益用于温度误差修正。相较于常规等离子体处理系统,使用较小的反馈增益可提升温度稳定性及改善瞬态响应 (如减少过冲、缩短上升时间等)。

[0025] 图 1 为示出根据本发明的实施例的拉普拉斯域 (Laplace domain) 内温度控制系统 100 的框图,温度控制系统 100 包括前馈 (如 $F(s)$ 115) 与反馈 (如 $G(s)$ 120) 控制组件。由于市售温度控制器缺乏用于扰动补偿的前馈输入 (例如,只提供包括测量的受控温度 150 和温度设定点 106 的输入用于反馈控制),故特定实施例将反馈传递函数 $G(s)$ 120 的控制补偿移开自主 (autonomous) 温度控制面 (control plane) (如离散 PID 控制器) 并移到等离子体处理系统的积分控制软件面 (software plane) 125 而提供前馈控制,积分控制软件面 125 运算反馈和前馈控制作用。又如所述,离散温度控制器接着可只做为控制致动器 (如阀、电阻组件等) 的驱动器而在积分等离子体腔室控制软件面 125 的指示下操作,控制软件面 125 执行实施温度控制系统 100 的指令。但是在替代实施例中,离散温度控制器经配置以利用从积分控制软件面 125 卸载的相关控制运算来提供这里描述的前馈控制。

[0026] 如图 1 所示,温度控制系统 100 包括前馈传递函数 $F(s)$ 115,前馈传递函数 $F(s)$ 115 把在工件处理期间引入等离子体处理腔室中的等离子体功率 105 当作输入。输入到前馈控制线中的等离子体功率 105 可依据等离子体功率源 (例如 RF (射频) 产生器、磁

控管等)输出的任何功率,等离子体功率 105 在温度受控系统部件上施予适当热负载。前馈传递函数 $F(s)$ 115 仿效扰动传递函数 $D(s)$ 110 并输出前馈控制信号 u , 以提供与扰动传递函数 $D(s)$ 110 的正负号相反的控制作用并补偿等离子体源功率热负载引起的扰动所造成的受控温度 150 升高。扰动传递函数 $D(s)$ 110 使等离子体功率 105 的热负载与具有特定热时间常数 τ 的等离子体处理系统的受控温度 150 上升有关联性。例如,在图 2 所示处理配方中,在处理配方步骤“1”与“2”之间从 700W(瓦)增加至 1200W 的等离子体功率阶梯函数可由扰动传递函数 $D(s)$ 110 映像成随时间上升的系统温度,系统温度上升可由外部冷却作用 (cooling effort) 抵消而维持在温度设定点 106(图 2 为 25°C)。

[0027] 在图 1 所示实施例中,前馈控制信号 u 耦合到反馈控制回路,其中反馈传递函数 $G(s)$ 120 提供反馈控制信号 v 。温度控制系统 100 保持反馈控制信号 v ,以修正误差信号 e ,该误差信号 e 对应于受控温度 150 与温度设定点 106 之间的差异。前馈控制信号 u 和温度设定点 106 输入到致动器传递函数 $G_2(s)$ 130 和热质量传递函数 $H(s)$ 135,以补偿扰动传递函数 $D(s)$ 110 对输出的受控温度 150 的影响。致动器传递函数 $G_2(s)$ 130 包括控制温度受控部件与散热器之间的传热的致动器的函数,致动器传递函数 $G_2(s)$ 130 更可包括控制温度受控部件与热源之间的传热的致动器的函数。如图 1 所示,反馈控制的致动器亦用于前馈控制,使增加前馈传递函数 $F(s)$ 115 也可使用和已安装至等离子体处理腔室的常规反馈控制系统一样的致动器实施。致动器可以以本领域中常用的任何方式实施。例如,在一个实施例中,致动器包括一个或多个控制传热流体流率的阀,阀耦接在温度受控部件与散热器和/或热源之间。在一个替代实施例中,致动器包括耦接至温度受控部件的一个或多个电阻加热组件。热质量传递函数 $H(s)$ 135 包括散热器/热源和温度受控部件的热容的函数。

[0028] 故就图 1 的示例实施例而言,前馈传递函数 $F(s)$ 115 的形式为: $F(s) = \frac{D(s)}{G_2(s)H(s)}$,

$$\text{且 } D(s) = \frac{K_{\text{扰动}}}{s + \frac{1}{\tau}}, \text{ 以及 } H(s) = \frac{K_H}{s + \frac{1}{\tau}}。$$

[0029] 图 2 图示根据本发明的实施例的在单一处理配方的多个连续处理步骤中的工件支撑夹盘温度,其中输入到处理系统中的等离子体功率和温度设定点变化。如图所示,在步骤 1 与 2 之间,输入到处理系统中的等离子体功率从 700W 的总偏压功率增加至 1200W 的总偏压功率。利用图 1 的控制系统,即使采用等离子体功率阶梯函数,也可使夹盘的内部温度区域和外部温度区域维持在设定点温度 25°C。又如处理配方的步骤 3 所示,在此步骤持续时间内(如约 60 秒)设定点温度将提高为 35°C,由此设定点温度提高成 50°C 以平衡处理配方。如此,图 2 图示单一处理配方内有大设定点温度范围(25°C)和快速的设定点温度变化率(ramp rate),其中中间温度(35°C)只持续很短的时间。利用步骤 3 的短暂持续时间,等离子体处理设备可具备快速热处理的附加功能,从而需有快速的温度响应时间,以确保等离子体处理物理量按预期方式受控制(如适当的沉积速率、适当的蚀刻速率等)。

[0030] 在图 2 所示实施例中,从延迟 D_1 (约 10 秒)清楚可知系统的热时间常数。又如所示,时间 R_1 期间的温度变化率为约 1°C/秒。本领域技术人员当可理解在具有半导体领域中典型所使用的等离子体处理系统的物理尺寸的机械系统(例如 300mm 的平台)中要实现短暂延迟是非平凡的,下面现将详述能实现此良好性能的特征结构。

[0031] 图 3A 示出等离子体蚀刻系统 300 的截面示意图, 等离子体蚀刻系统 300 包括温度受控的部件。等离子体蚀刻系统 300 可为本领域中已知的任何高性能蚀刻腔室类型, 例如但不限于位于美国加州的 Applied Materials 制造的 Enabler™、MxP®、MxP+™、Super-E™、DPS II AdvantEdge™ G3 或 E-MAX® 腔室。可类似地控制其它市售的蚀刻腔室。虽然示例实施例是以等离子体蚀刻系统 300 为背景说明, 但更应注意这里描述的温度控制系统构造亦适用于在温度受控部件上存在热负载的其他等离子体处理系统 (如等离子体沉积系统等)。

[0032] 等离子体蚀刻系统 300 包括接地腔室 305。基板 310 经由开口 315 装载, 并把基板 310 夹到温度受控静电夹盘 320。基板 310 可以是等离子体处理领域中常用的任何工件, 本发明不限于此。在特定实施例中, 温度受控夹盘 320 包括多个区域, 每一区域可独立地控制达到温度设定点 106 (图 1), 各区域的温度设定点 106 可相同或不同。在示例实施例中, 内部热区域 322 邻近基板 310 的中心, 外部热区域 321 邻近基板 310 的周围 / 边缘。处理气体从气源 345 经由质量流量控制器 349 供应到腔室 305 的内部。腔室 305 由连接至大容量真空泵组 (vacuum pump stack) 355 的排气阀 351 排空。

[0033] 当等离子体功率施加至腔室 305 时, 等离子体在基板 310 上方的处理区中形成。第一等离子体偏压功率 325 耦合到夹盘 320 (例如阴极), 以激发等离子体。等离子体偏压功率 325 通常具有约 2MHz 至 60MHz 的低频, 且在特定实施例中为 13.56MHz 频带。在示例实施例中, 等离子体蚀刻系统 300 包括在约 2MHz 频带下操作的第二等离子体偏压功率 326, 等离子体偏压功率 326 和等离子体偏压功率 325 一样连接至 RF 匹配器 327, 以提供双频偏压功率。在一个双频偏压功率的实施例中, 就介于 500W 至 10000W 之间的总偏压功率 ($W_{b, tot}$) 而言, 13.56MHz 产生器供应 500W 至 3000W 的功率, 而 2MHz 产生器则供应 0W 至 7000W 的功率。在另一双频偏压功率的实施例中, 就介于 100W 至 10000W 之间的总偏压功率 ($W_{b, tot}$) 而言, 60MHz 产生器供应 100W 至 3000W 的功率, 而 2MHz 产生器则供应 0W 至 7000W 的功率。

[0034] 等离子体源功率 330 经由匹配器 (未图示) 耦接到等离子体产生组件 335 (如喷淋头), 等离子体产生组件 335 相对夹盘 320 为阳极, 以提供高频源功率而激发等离子体。等离子体源功率 330 的频率通常比等离子体偏压功率 325 高, 例如在 100 至 180MHz 之间, 且在特定实施例为 162MHz 频带。在特定实施例中, 顶部源在 100W 至 2000W 之间操作。偏压功率更直接影响基板 310 上的偏压电压而控制基板 310 的离子轰击, 而源功率则更直接影响等离子体密度。值得注意的是, 由控制系统 100 控制温度的系统部件既不限于夹盘 320, 也不一定是直接将等离子体功率耦合到处理腔室的温度受控部件。例如, 在替代实施例中, 利用温度控制系统 100 来控制喷淋头, 处理气体经由喷淋头被输入到等离子体处理腔室内。对此喷淋头实施例而言, 喷淋头可以或可不由 RF 供电。

[0035] 在高偏压功率密度 (千瓦 / 工件面积 (kW/workpiece area)) 的实施例中, 例如图 2 中所示的可应用到电介质蚀刻的实施例, 因 RF 滤波问题, 故利用电阻加热器供应加热功率至夹盘 320 是有困难的。就系统 300 而言, 由传热流体回路提供夹盘加热功率 (如在图 2 的步骤 4 中, 用以将夹盘温度提高至 50°C)。在此实施例中, 第一传热流体回路冷却夹盘 320, 第二传热流体回路加热夹盘 320。在示例实施例中, 温度控制器 375 直接或间接 (经由积分控制软件面 125) 耦接至冷却器 377 (散热器) 和 / 或热交换器 378 (热源)。温度控制器 375 可取得冷却器 377 或热交换器 (HTX) 378 的温度设定点。冷却器 377 与温度设定点

106 之间的温度差异、和热交换器 378 与温度设定点 106 之间的温度差异随着等离子体功率（如总偏压功率）一起输入前馈控制线。冷却器 377 经由使夹盘 320 与冷却器 377 热耦接的冷却剂回路来向夹盘 320 提高冷却功率。在示例实施例中，采用两个冷却剂回路。一个冷却剂回路具有冷液体（如 Galden 或 Fluorinert 等，温度设定点为 -5°C ），另一回路含有高温液体（如 Galden 或 Fluorinert 等，温度设定点为 55°C ）。如此，回到图 1，若 ρ 为负值，则需要冷却，并打开阀 385（图 3A）。同样地，若 ρ 为正值，则打开加热回路的阀 386。在优选实施例中，在任何特定时刻，只打开加热阀 385 和冷却阀 386 中的一者，使得任何特定时刻到夹盘 320 的总流体流量是从冷却器 377 或 HTX 378 输送的。

[0036] 图 3B 示出根据本发明的实施例的用于图 3A 的等离子体蚀刻系统中采用的基于传热流体的热源 / 散热器的阀与管道示意图。又如所示，一对传热流体供应管线 381、382 分别经由阀 385 (EV4 和 EV3) 耦接至冷却器 377 和嵌入在夹盘 320 内的传热流体通道（在夹盘工作表面下方，在处理期间工件 310 置于夹盘上）。管线 381 耦接至嵌入在夹盘工作表面的第一外部区域下方的传热流体通道，管线 382 耦接至嵌入在夹盘工作表面的第二内部区域下方的传热流体通道，以促成双区冷却。同样地，管线 381、382 亦分别经由阀 386 (EV2 和 EV1) 耦接至夹盘 320 和 HTX 378，以促成双区加热。回流管线 383 经由回流阀 EV3 和 EV1 使内部与外部区域的传热流体通道耦接至冷却器 377/HTX 378。

[0037] 冷却器 377 和 HTX 378 各自包括传热流体储器（即槽或池），传热流体储器将在设定点温度下操作达到散热器或热源热能。被动平衡管 (leveling pipe) 399 耦接第一传热流体储器和第二传热流体储器，以通过重力使传热流体液位平衡。被动平衡管 399 可以是任何常规导管，例如 $3/4$ "ID 软管。重力供给平衡对阀 385、386（以及类似地回流阀 EV1、EV3）的操作致使冷却器 377 内传热流体液位随时间偏离 HTX 378 内传热流体液位的情况是有利的。这对于利用脉冲式加热 / 冷却以使得任何特定时刻只打开阀 385、386 中的一者且各阀频繁轮换的情况而言尤其如此。即使分别与阀 385 或 386 同步地切换回流阀 EV3 或 EV1，操作期间，阀启动速度等的些微不同也会造成传热流体在冷却器 377 与 HTX 378 之间的净移动。图 3C 进一步图示根据本发明的实施例在热传热流体储器与冷传热流体储器之间延伸的被动平衡管 399。如图所示，冷却器储器的低液位标记 391 配置在平台上而与热交换器储器的低液位标记 392 等高。利用如此布置的冷却器 377 和 HTX 378，可将平衡管 399 安装到热储器与冷储器的排放口。

[0038] 操作期间，由于热冷却剂回路与冷冷却剂回路各自接通以控制夹盘温度，故平衡管 399 可操作以消除从夹盘 320 返回冷却器 377 和加热器 378 各自的冷储器和热储器的流体量的任何差异。沿着平衡管 399 没有任何主动阀控制的情况下，将响应冷与热供应及返回分配之间的些微差异而产生少量加热和 / 或冷却的传热流体流通，以维持储器被填充到处于相等液位。由于温度控制阀的操作所引起的相对少的流体移动，因此平衡管 399 施加极少额外负载至 HTX 378 和 / 或冷却器 377 上。

[0039] 在图 3B 的示例实施例中，温度控制器 375 耦接至脉冲宽度调制 (PWM) 控制器 380。在阀 385、386 为数字式且进一步操作以使得在任何特定时刻只打开一个阀的实施例中，加热和冷却夹盘 320 被称作“脉冲”。当阀 385 被控制到打开状态并持续由工作循环所限定的时间段时，提供冷却功率的脉冲，这将在说明书中进一步说明。同样地，当阀 386 被控制到打开状态并持续由工作循环所限定的时间段时，向夹盘 320 提供加热功率的脉冲。PWM 控

制器 380 可以是任何通常可获得的类型,且在阀 385、386 为数字式的实施例中,PWM 控制器 380 可构造成在工作循环中依据由温度控制器 375 送出的控制信号来操作阀 385、386 (即具有全开或全关的二元状态)。在替代实施例中,支持 PWM 功能性并提供对工作循环的外部控制的 PID 控制器 (例如但不限于可购自日本 Yamatake Corp. 的 Azbil) 可用于实施本文描述的前馈控制算法。又或者,PWM 控制信号可由计算机 (如控制器 370) 的数字输出端口产生,此信号可用来驱动继电器,该继电器控制阀 385、386 到达打开 / 关闭位置。就温度控制器 375 实现温度控制系统 100 的实施例而言,PWM 控制器 380 专门用作数字阀 385、386 的驱动器。

[0040] 旁管设置在传热流体储器 (即冷却器 377 或加热器 378) 与阀 385、386 之间,以周期性关闭阀 385、386 而使与隔离热源 / 散热器相关联的泵维持合理的低压。关闭阀 385 时,传热流体经由旁管 384 返回冷却器 377 ;关闭阀 386 时,传热流体经由旁管 387 返回 HTX 378。旁管太长会浪费加热 / 冷却功率,以致操作效率低,旁管太短则会在泵上施加过大负载。已发现流向夹盘 320 的供应管线 (如管线 381 或 382) 应分设旁管,以使通过夹盘 320 的流量大于通过旁管 (旁管 383 或 384) 的流量。在提供良好性能的特定实施例中,经由阀 385 或 386 流向夹盘 320 的流量比为 1 : 0.8 至 1 : 0.2。例如,供应管线 381 中的流量为约 2.5 加仑 / 分钟 (GPM),供应管线 382 中的流量也为 2.5GPM,通过旁管 384 的流量为约 1GPM。

[0041] 图 3D 及图 3E 示出根据本发明的实施例的在图 3B 所示的阀与管道示意图中的脉冲宽度调制的时间比例。如图 3D 所示,时间的基本单位 (比例循环时间) 用于使工作循环成比例,以通过使流向夹盘 320 的传热流体在固定标称开阀流体流率 (如 2.5GPM) 至为零的闭阀流体流率之间循环,而使得数字阀 385、386 接近模拟加热 / 冷却功率施加方式。如图 3D 所示,比例循环中数字阀打开的时间的百分比称为工作循环 (DC)。就 25% 的 DC 冷却而言,阀 385 在 25% 的比例循环时间 (如 1.25 秒) 处于打开状态。同样地,若为 75% 的 DC 加热,则阀 386 在 75% 的比例循环时间 (如 3.75 秒) 处于打开状态。

[0042] 比例循环时间的持续时间对达到图 2 所示的快速温度响应时间和良好稳态控制而言很重要。比例循环的持续时间比夹盘 320 的热时间常数小,夹盘 320 的热时间常数至少部分地取决于本文描述的定位盘的厚度。夹盘 320 的热时间常数适于消除脉冲式施加加热 / 冷却功率所引起的温度波动。尽管非常短的热时间常数可缩短控制系统 100 的响应时间,但热时间常数非常短也会因脉冲式施加加热 / 冷却功率而出现工作表面温度波动。根据处理灵敏度,波动大小可能达到某种程度,以致在工件处理期间不利。因此限定与夹盘 320 的热时间常数良好匹配的比例循环时间很重要。在特定实施例中,比例循环持续时间不大于夹盘 320 的热时间常数的一半,优选为远小于一半。

[0043] 最小比例循环持续时间通常受限于数字阀 (如阀 385、386) 切换状态的速度。如图 3E 所示,对于控制阀 386,工作循环尺度从 DC 最小值延伸到 100 (正),对于控制阀 385,工作循环尺度从 DC 最小值延伸到 -100 (负)。同样,根据 DC 值,在任何特定时刻,只打开阀 385、386 中的一者,当任何 DC% 降至最小 DC 以下时,阀 385、386 均处于“关”或关闭状态。任何比最小 DC% 短的 PWM 驱动脉冲由控制器 375 截断 (truncate) 成恰为零。比例循环持续时间应选为足够大,以让阀的切换时间不占比例循环的大百分比。在一个实施例中,时间比例循环比改变阀的状态所需的时间大不止一个数量级。在优选实施例中,阀 385、386 的

切换速度小于 0.35 秒,比例循环持续时间为 4 至 6 秒(如图 3D 显示为 5 秒)。若比例循环持续时间为 5 秒,则阀切换时间将占工作循环范围的小于 10%;在阀切换时间为 0.25 至 0.35 秒的实施例中,对各个冷热控制而言,阀切换时间约占 DC 的 5%至 6%。因此例如在阀 386 以最小 DC 的 6%作用前,将容许夹盘 320 的温度漂移一定量。通常只在闲置期间才有很小的工作循环,故此稳态温度控制的等级已足够。

[0044] 另一影响比例循环持续时间的因素为供应管线 381、382 的内部容积,供应管线 381、382 的内部容积代表未维持在散热器/热源温度的传热液体的死区容积(dead volume)。优选地,阀 385、386 与夹盘 320 之间(或至少在容器 396 与夹盘 320 之间)的管道区域内的冷却剂体积相对于脉冲持续时间内流动的冷却剂体积来说不大。在示例实施例中,供应管线 381 和/或 382 的内部容积小于在时间比例循环期间(如 100%的 DC)输送的传热流体的体积。由于供应管线容积为长度与直径的函数,故利用更小直径的管线和/或更短的长度可实现减小容积,从而容许比例循环持续时间降至夹盘 320 的热时间常数的限值。但是,1/4" ID 的连接管线不利地需要泵来提供非常高的压力,以产生足够的冷却剂流率,例如流率在 1 加仑/分钟(GPM)至 7GPM 之间。优选的开阀流率为 2 至 6GPM,以在电介质蚀刻系统中存在高热负载下(如 $W_{b, tot}$ 为约 7000K)提供适当冷却功率。在优选实施例中,在管线 381 和/或 382 的长度为约 8 英尺或更小的情况下,则使用至少 3/4" ID 的管线,以提供够小的流动阻力。考虑到较长的管线往往较易安装,如果管内径(ID)缩小成 1/2",则管线 381 和/或 382 可延长成 15 英尺。在此实施例中,在示例性的 5 秒的比例循环持续时间内,可维持死区容积小于 1 升,同时输送将近 1 升的传热流体。

[0045] 在一个实施例中,夹盘 320 和喷淋头 335 有 1.25 英寸的固定间距。又如图 3F 及图 3G 所示,夹盘 320 更可结合有薄陶瓷定位盘 427 或厚陶瓷定位盘 428。本文所用“定位盘”指使工件 310 和温度受控基底 329 分隔开的陶瓷板。定位盘使离子轰击产生的热通量散去并把 RF 功率电容耦合至工件 310,定位盘还封装了电极,电极提供夹持力将工件 310 夹到夹盘 320。

[0046] 在图 3G 所示的厚定位盘实施例中,静电夹盘(ESC)设有 RF 供电且 DC 偏压的电极 333,该电极 333 嵌入在定位盘内,同时基底 329 接地。在薄定位盘实施例中,静电夹盘设有 DC 偏压但 RF 浮置的电极 334,电极 334 嵌入在定位盘内,同时基底 329 由 RF 供电。在薄定位盘实施例中,因大并联电容所致,接地的 ESC 基底是不利的。厚定位盘实施例通常无此问题,因为 ESC 电极和工件设置在离基底 329 的接地面较远距离处。

[0047] 陶瓷定位盘的厚度会影响夹盘 320 的热时间常数,进而影响图 2 所示的延迟量 D_1 的大小。在一个薄定位盘实施例中(图 3F),陶瓷定位盘 327 的标称厚度 T_1 小于 10mm,更具体地为约 5mm。在一个厚定位盘实施例中,陶瓷定位盘 328 的标称厚度 T_2 大于 10mm,更具体地为约 25mm。例如,夹盘 320 的热时间常数根据陶瓷厚度可在约 5 秒至 60 秒之间改变。在特定实施例中,具有标称陶瓷厚度 5mm 的薄定位盘 327 的夹盘的热时间常数为约 10 秒,而具有标称陶瓷厚度 25mm 的厚定位盘 328 的夹盘的热时间常数为约 60 秒。热时间常数小的薄定位盘实施例能在图 2 所示类型的(蚀刻)处理配方的连续步骤中实现快速温度变化。厚定位盘实施例由于较大热质量而预计有明显更长的响应时间(如图 2 的 D_1 可能超过 60 秒)。在约 5 秒的比例循环持续时间的实施例中,热时间常数为 10 秒的薄陶瓷定位盘可使温度波动降至约 1°C 或更小。因此,5 秒的比例循环持续时间良好地匹配薄定位盘实施例,

该薄定位盘实施例的循环持续时间明显更长而将变得太接近夹盘 320 的热时间常数。由于厚定位盘实施例的热时间常数非常长,比例循环持续时间可能增加超过 5 秒,又不会引起工件表面温度产生明显的温度波动。但在优选的厚定位盘实施例中,利用 5 秒的比例循环,使得控制系统 100 执行的算法较少地依赖存在厚陶瓷定位盘或薄陶瓷定位盘的情况。

[0048] 又如图 3F 及图 3G 所示,根据独立的温度区域数量,一个或多个温度探针 376 嵌入在下支撑组件内。优选使用非金属探针,以免发生 RF 耦合 / 滤波问题;在一个实施例中,使用荧光光纤温度探针。在多区(如双区)实施例中,两个或更多个这种探针嵌入在下支撑组件内。例如,第一探针 376 设在夹盘的内部区域下方,第二探针 376 设在夹盘的外部区域下方。温度探针 376 根据使用薄定位盘还是厚定位盘而设置在下组件内。在薄定位盘实施例中,如图 3F 所示,温度探针尖端设置成接触薄陶瓷层的背侧。如此,探针尖端不嵌入在薄陶瓷层中,且探针 376 的尖端与放置工件 310 的工作表面相距约 5mm。在图 3G 所示的厚定位盘实施例中,温度探针 376 的尖端嵌入或插入厚陶瓷层中,使 R_1 与放置工件 310 的工作表面相距小于 5mm。在特定实施例中, R_1 距离工作表面约 3mm。根据使用薄定位盘还是厚定位盘而将探针尖端设置在下组件中,可容许具有不同陶瓷定位盘厚度的系统保留更多的温度控系统 100 硬件和测量校正。因此,可根据待进行处理等,交换陶瓷定位盘而重新构造特定系统。

[0049] 回到图 3A,温度控制器 375 用于执行温度控制算法,且温度控制器 375 可以是软件或硬件、或软件与硬件的组合物。温度控制器 375 用于输出控制信号,控制信号影响夹盘 320 与等离子体腔室 305 外的热源和 / 或散热器之间的传热速度。在一个前馈实施例中,经过取样时间 $T_{\text{计算}}$ 后,在操作 205 中,取得当前的受控温度 150(图 1)、取得温度设定点 106 及取得等离子体功率 105。也可取得散热器的温度设定点。在图 3 的示例实施例中,温度控制器 375 接收来自夹盘温度传感器 376(如光学探针)的受控温度输入信号。温度控制器 375 从例如储存于存储器 373 中的处理配方文件取得夹盘设定点温度,温度控制器 375 取得等离子体功率(测量的或由配方文件参数设定的等离子体功率)。

[0050] 温度控制器 375 不需内包含在积分控制软件面 125 内或由积分控制软件面 125 提供(参见图 1)。明确而言,温度控制器 375 的功能反而可提供做为离散系统。例如,PID 控制器(例如但不限于可购自 Yamatake Corp. 的 Azbil)未来可能设计成包括附加前馈输入,例如等离子体功率和冷却器温度。离散系统还可制造成包括处理器,该处理器能依据这些前馈输入来决定前馈控制作用。如此,本文描述的所有温度控制实施例可由温度控制器 375 提供当作积分控制软件面 125 的小面(facet)或当作 PWM 控制器 380 的小面。

[0051] 在优选实施例中,现时(如经过 $T_{\text{计算}}$ 后)在处理腔室 305 中激发等离子体的测量的正向 RF 偏压功率 328 被输入到前馈控制线中做为等离子体热负载(如瓦特)。等离子体功率设定值(如取自储存在存储器 373 中的处理配文件)也可输入到前馈控制线。此预定功率设定值能在施加等离子体功率前或在输入系统的等离子体功率改变前针对功率设定点求得前馈传递函数 $F(s)$ 115,并产生预先控制作用。但是,若温度控制系统 100 反应够快,则等离子体功率 105 优选耦合到测量的功率输出信号,以提高现时施加的等离子体功率的准确性。即便在此实施例中,仍以配方为基础来决定未来时间的控制作用。

[0052] 在实施例中,等离子体功率 105 包含输入到夹盘的第一偏压功率,夹盘构造成在等离子体处理时支撑工件。例如,等离子体功率 105 可设定成等离子体偏压功率 325(图 3)。

在实施例中,等离子体功率 105 为等离子体处理腔室的多个输入功率的加权总和。例如,等离子体功率加权总和等于 $c_1 \times P_1 + c_2 \times P_2 + c_3 \times P_3$, 其中 P_1 、 P_2 和 P_3 为偏压和 / 或源功率。权数 c_1 、 c_2 和 c_3 可为任何实数且通常为正值,但在一些实施例中,在部件加热实际上随源功率增加而减少的情况下,源功率的权数为负值。例如,若等离子体处理系统施加 2MHz 和 13.56MHz 的偏压功率输入至夹盘,或者等离子体处理系统施加 2MHz 和 60MHz 的偏压功率输入至夹盘,则 c_1 和 c_2 各自为 1。以第一和 / 或第二等离子体偏压功率输入做为等离子体功率 105,前馈传递函数 $F(s)$ 115 可使偏压功率输入(如被测量作为 RF 匹配器 327 输出的正向偏压功率 328)与限定冷却作用的前馈控制信号 u 相关联,以补偿扰动传递函数 $D(s)$ 110。

[0053] 虽然在此示例实施例中,偏压功率的加权总和 ($W_{b, tot}$) 输入当作等离子体功率 105,但应注意输入到处理腔室中的一个或多个总功率输入可排除在做为加权函数的等离子体功率 105 之外。例如,参照图 3,等离子体源功率 330 被排除在等离子体功率 105 外(即 $c_3 = 0$),其中控制系统 100(图 1)用于控制静电夹盘 320 的温度。在此实施例中,因等离子体源功率 330 施加在夹盘 320 上的热负载很小,故等离子体功率 105 不需包括等离子体源功率 330。但是,在替代实施例中,待控制的温度与输入到处理腔室中的所有等离子体功率有相当的相依性,故前馈传递函数 $F(s)$ 115 输出的前馈控制信号 u 可进一步依据等离子体源功率 330。

[0054] 在每个时间 $T_{计算}$,计算温度误差信号 e 、前馈控制信号 u 和反馈控制信号 v (如利用中央处理单元(CPU) 372)。在拉普拉斯域中:

$$[0055] \quad u(s) = F(s)p(s),$$

[0056] 其中 u 为前馈信号, F 为前馈传递函数, p 为等离子体功率。就图 3 所示的实施例而言,前馈控制信号 u 可在离散时域中实现为:

$$[0057] \quad u(t) = \beta_0 P(t) + \beta_1 P(t - T_{PWM}) + \beta_2 P(t - 2T_{PWM}) + \dots + \alpha_1 u(t - T_{PWM}) + \alpha_2 u(t - 2T_{PWM}) + \alpha_3 u(t - 3T_{PWM}) + \dots$$

[0058] 其中 $P(t)$ 为当前 $T_{计算}$ 的等离子体功率 105, T_{PWM} 为 PTM 控制器 380 的时间增量。在特定实施例中,前馈控制信号 u 系依据现时(如 $T_{计算}$)的等离子体功率输入而运算简化成 $\beta_0 P(t)$ 。

[0059] 在另一实施例中,由于可确定未来时期所需的等离子体功率(如从处理配方文件),故前馈表式还可包括项 $[\theta_1 P(t + T_{PWM}) + \theta_2 P(t + 2T_{PWM})]$,以补偿冷却剂流动对受控温度的影响的延迟。在另一实施例中,达到受控温度 150 所需的传热取决于散热器(如冷却器 377)温度设定点和 / 或热源(如热交换器 378)温度设定点,以使得附加冷却剂温度附属项 $[\delta_c (T_{SP} - T_{散热器}) + \delta_h (T_{SP} - T_{热源})]$ 可加入前馈控制信号 u ,其中 T_{SP} 为受控温度 150。整个前馈方程式还可具有温度相依因子 $\Omega_{热}$ 和 $\Omega_{冷}$,以使得净前馈控制信号 u 将变成:

$$[0060] \quad u(t) = \Omega_{热} (T_{SP} - T_{热源}) \Omega_{冷} (T_{SP} - T_{散热器}) \{ \beta_0 P(t) + \beta_1 P(t - T_{PWM}) + \beta_2 P(t - 2T_{PWM}) + \dots + \alpha_1 u(t - T_{PWM}) + \alpha_2 u(t - 2T_{PWM}) + \alpha_3 u(t - 3T_{PWM}) + \dots + \theta_1 P(t + T_{PWM}) + \theta_2 P(t + 2T_{PWM}) + \delta_c (T_{SP} - T_{散热器}) + \delta_h (T_{SP} - T_{热源}) \}。$$

[0061] 同样地,反馈控制信号 v 在拉普拉斯域中为 $v(t) = G(s) \varepsilon(s)$,且反馈控制信号 v 可在离散时域中实现为:

$$[0062] \quad v(t) = \lambda_0 e(t) + \lambda_1 e(t - T_{PWM}) + \lambda_2 P(t - 2T_{PWM}) + \dots + \eta_1 v(t - T_{PWM}) + \eta_2 v(t - 2T_{PWM}) + \eta_3 v(t - 3T_{PWM}) + \dots$$

[0063] 其中 $e(t)$ 为在 $T_{\text{计算}}$ 时的温度误差信号 (受控温度 150 与温度设定点 106 之间的差异)。在特定实施例中,反馈控制信号 v 被运算简化成 $\lambda_0 e(t)$ 。尽管操作 210 在每个时间 $T_{\text{计算}}$ 进行,但是控制运算使用在与时间 t 、 $t-T_{\text{PWM}}$ 等相对应的某些更低频率下输入的输入温度和等离子体功率值。参数 u 、 v 、等离子体功率 105 (P)、受控温度 150 和温度设定点 106 的值可储存在数据数组中,并且与离散时间 t 、 $t-T_{\text{PWM}}$ 相对应的这些储存值接着可用于后续控制计算。

[0064] 从前馈信号 u 与反馈信号 v 的组合确定控制致动器输出信号 ρ ,然后将信号 ρ 输出到致动器。在一个实施例中,恒定增益 K_v 应用到前馈控制信号 u ,恒定增益 K_u 则应用到反馈控制信号 v ,以使得控制致动器输出信号 ρ 可被计算为: $\rho(t) = K_v v - K_u u$ 。增益 K_v 、 K_u 向系统操作员提供简易接口,以利用两个简单因子来存取结合的前馈与反馈控制线。根据控制致动器输出信号 ρ 的值,调节一个或多个散热器与热源之间的传热。故在图 3 中,若控制致动器输出信号 ρ 具有第一正负号 (如 $\rho < 0$),则提供可由 PWM 控制器 380 执行的指令来驱动阀 385 打开,以增加冷却器 377 与夹盘 320 之间的传热,进而降低受控温度 150。若控制致动器输出信号 ρ 具有第二正负号 (如 $\rho > 0$),则由 PWM 控制器 380 提供指令来驱动阀 386 打开,以减少冷却器 377 与夹盘 320 之间的传热,进而提高受控温度 150。

[0065] 图 4 示出计算机系统 500 的示例形式的机器的方块示意图,计算机系统 500 可用于进行本文所述的温度控制操作。在一个实施例中,计算机系统 500 提供做为等离子体蚀刻系统 300 中的控制器 370。在替代实施例中,机器可连接至 (如网络联结) 局域网 (LAN)、内联网、外联网或因特网中的其它机器。机器可作为主从网络环境中的服务器或客户机进行操作、或作为点对点 (或分布式) 网络环境中的对等机器。机器可以是个人计算机 (PC)、服务器、网络路由器、交换机或桥接器、或任何能 (循序或按其它方式) 执行指令集的机器,指令集指定机器所执行的动作。另外,虽然只示出单一机器,但术语“机器”也应视为包括任何机器 (如计算机) 的集合,这些机器单独地或共同执行一组 (或多组) 指令,以进行本文描述的任一个或多个方法。

[0066] 示例计算机系统 500 包括处理器 502、主存储器 504 (如只读存储器 (ROM)、闪存、动态随机存取存储器 (DRAM) (诸如同步 DRAM (SDRAM) 或 Rambus DRAM (RDRAM) 等))、静态存储器 506 (如闪存、静态随机存取存储器 (SRAM) 等)、和次存储器 518 (如数据储存装置),处理器 502、存储器 504、506、518 经由总线 530 互相通信连接。

[0067] 处理器 502 代表一个或多个通用处理装置,例如微处理器、中央处理单元等。更特别地,处理器 502 可为复杂指令集运算 (CISC) 微处理器、精简指令集运算 (RISC) 微处理器、超长指令字组 (VLIW) 微处理器、实施其它指令集的处理装置、或实施指令集组合的处理装置。处理器 502 亦可为一个或多个专用处理装置,例如专用集成电路 (ASIC)、场可编程门阵列 (FPGA)、数字信号处理器 (DSP)、网络处理器等。处理器 502 经配置以执行处理逻辑 526,以进行本文所述的温度控制操作。

[0068] 计算机系统 500 可更包括网络接口装置 508。计算机系统 500 还可包括视频显示单元 510 (如液晶显示器 (LCD) 或阴极射线管 (CRT))、文字数字输入装置 512 (如键盘)、光标控制装置 514 (如鼠标)、和信号产生装置 516 (如扬声器)。

[0069] 次存储器 518 可包括机器可存取储存介质 (或更明确而言为计算机可读取储存介质) 531,机器可存取储存介质 531 储存实现本文所述的任一个或多个温度控制算法的一个

或多个组指令（如软件 522）。在计算机系统 500 执行软件 522 期间，软件 522 也可完全或至少部分常驻在主存储器 504 和 / 或处理器 502 内，主存储器 504 和处理器 502 也构成机器可读取储存介质。软件 522 还可经由网络接口装置 508 在网络 520 上传送或接收。

[0070] 机器可存取储存介质 531 还可用于储存指令集，处理系统执行该指令集，促使系统进行本文所述的任一个或多个温度控制算法。本发明的实施例还可提供做为计算机程序产品或软件，该计算机程序产品或软件包括储存指令的机器可读取介质，指令可用于对计算机系统（或其它电子装置）编程，以根据本发明所述来控制等离子体处理腔室温度。机器可读取介质包括任何储存或传送机器（如计算机）可读取格式的信息的机构。例如，机器可读取（如计算机可读取）介质包括机器（如计算机）可读取储存介质，例如只读存储器（ROM）、随机存取存储器（RAM）、磁盘储存介质、光储存介质和快闪记忆装置和其它非暂时性储存介质。

[0071] 应理解以上叙述仅为举例说明、而无限定意图。本领域技术人员在阅读及了解本文后将能明白许多其它实施例。

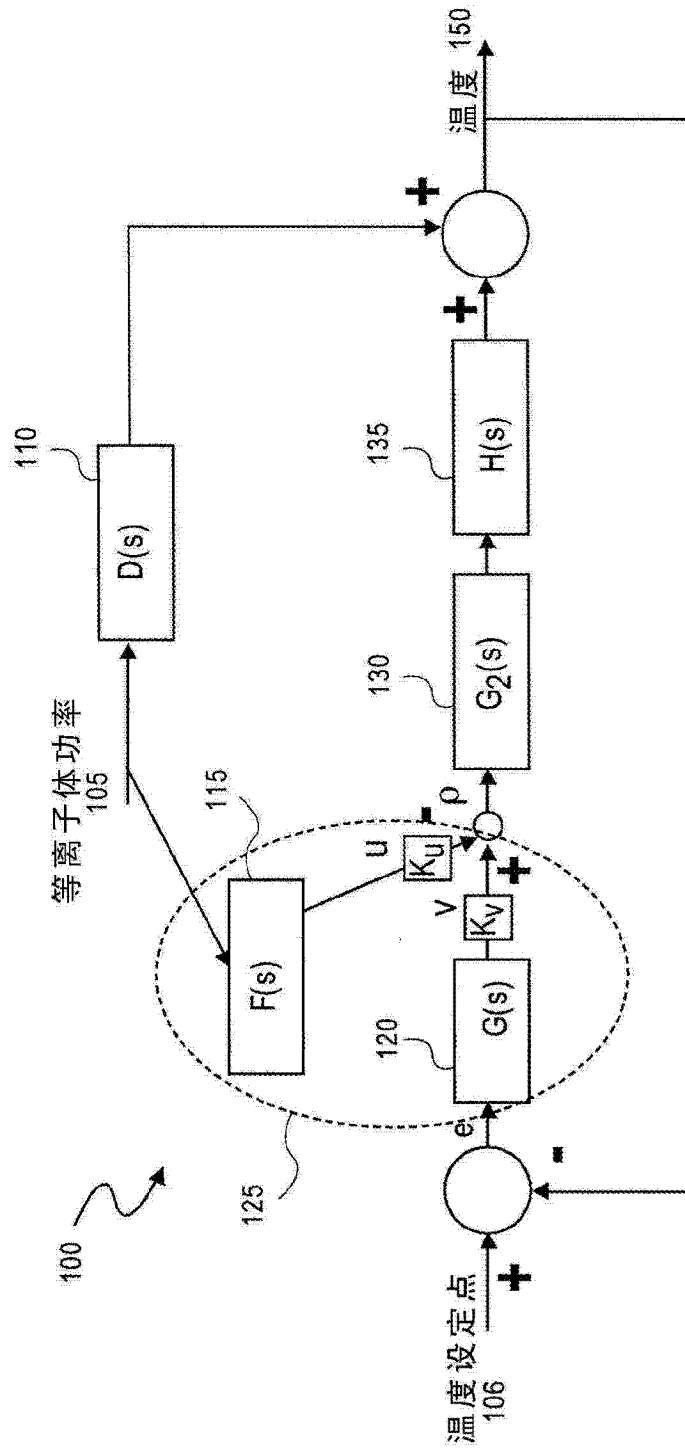


图 1

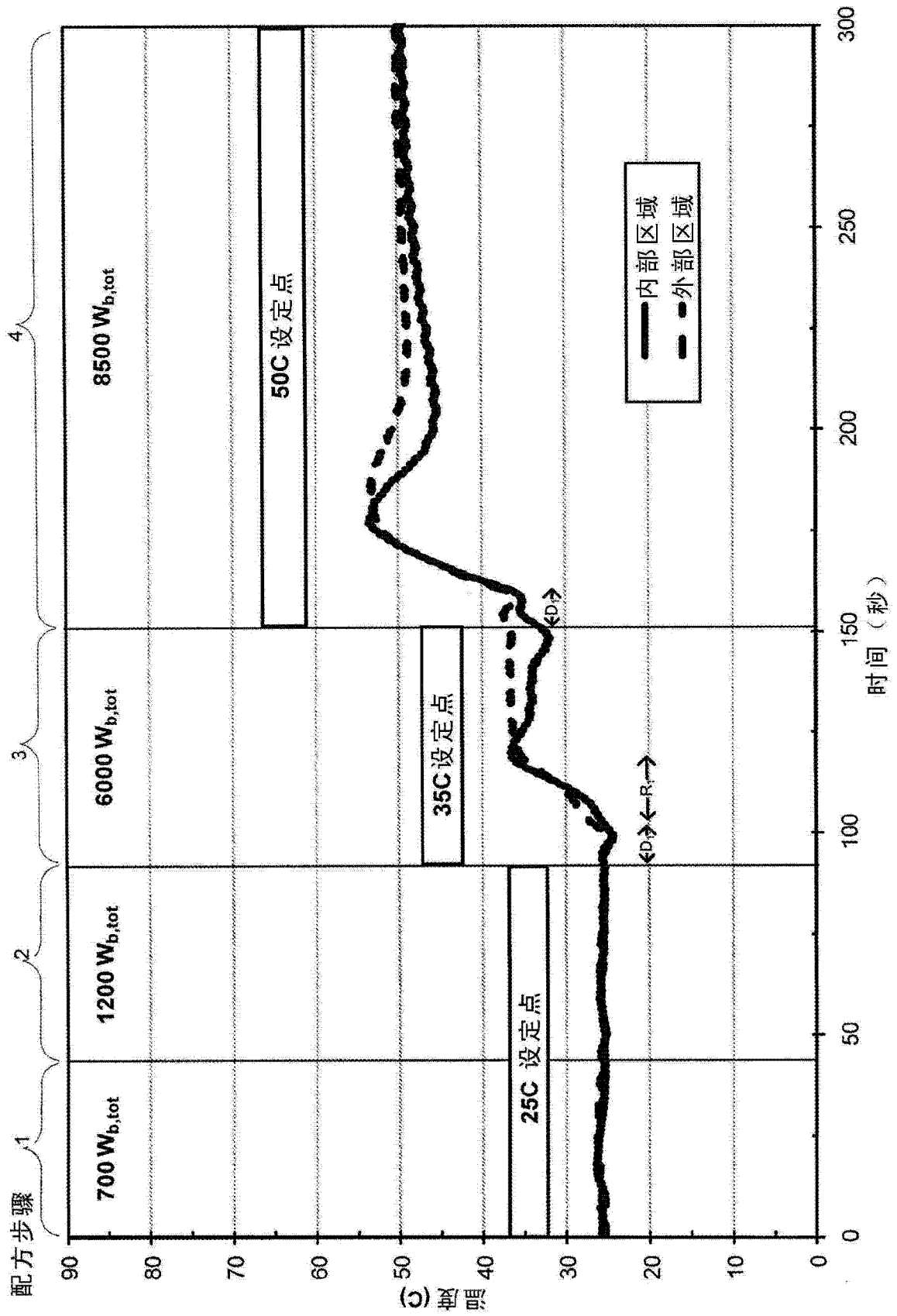


图 2

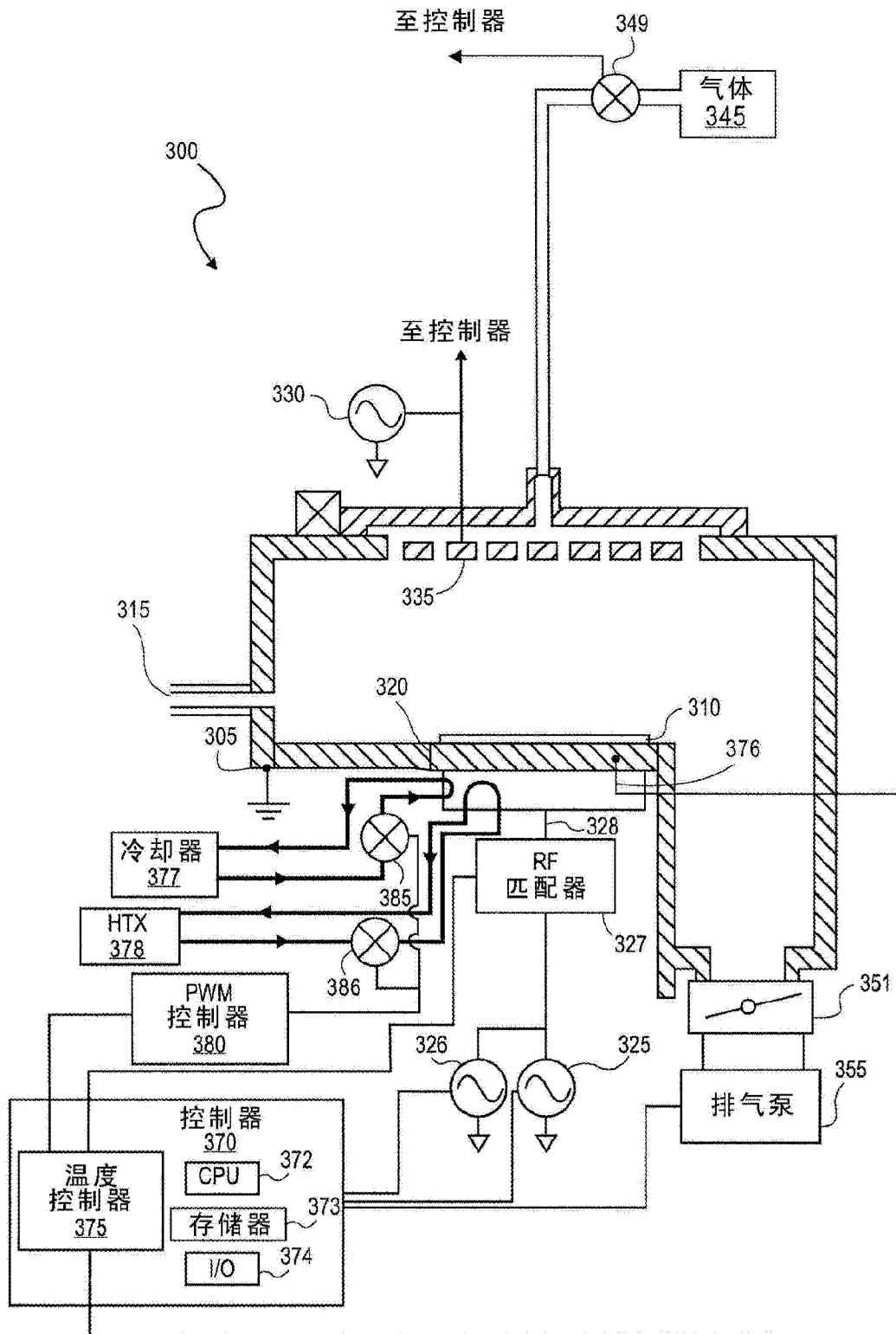


图 3A

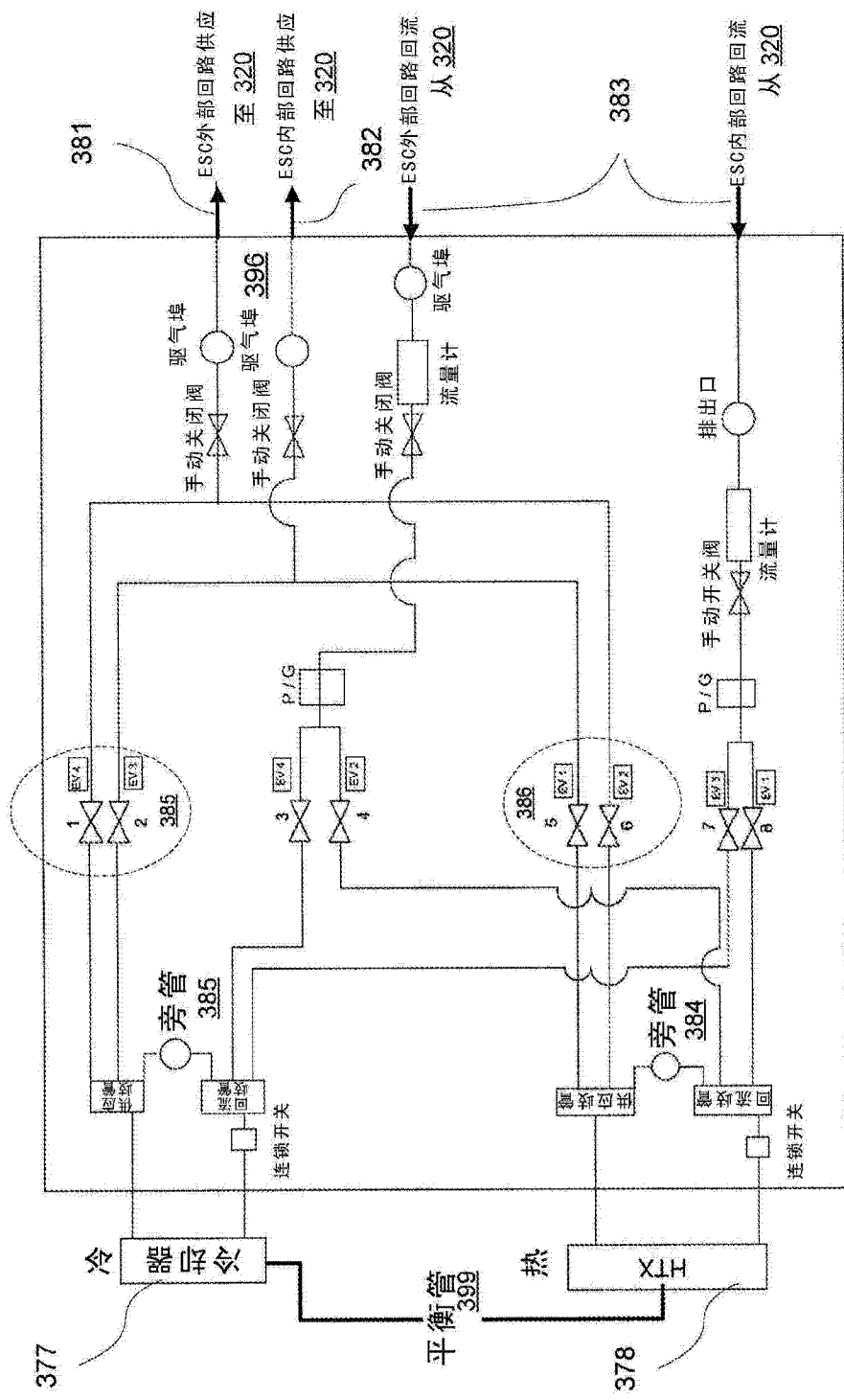


图 3B

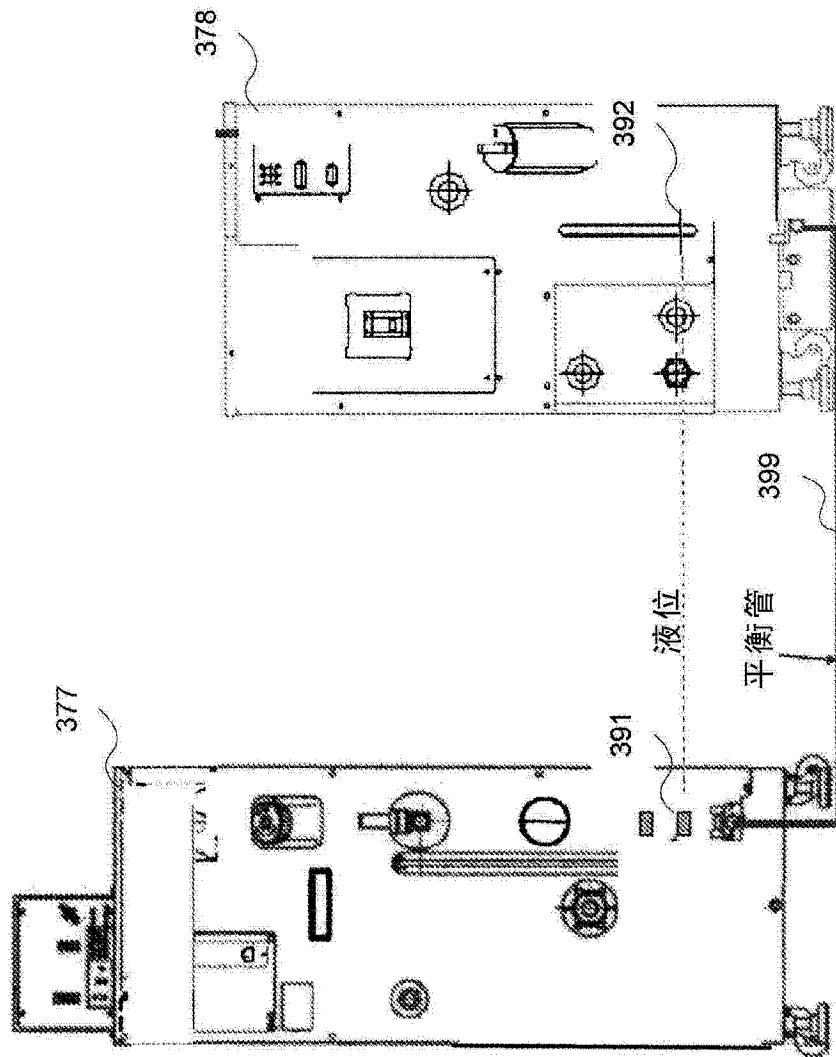


图 3C

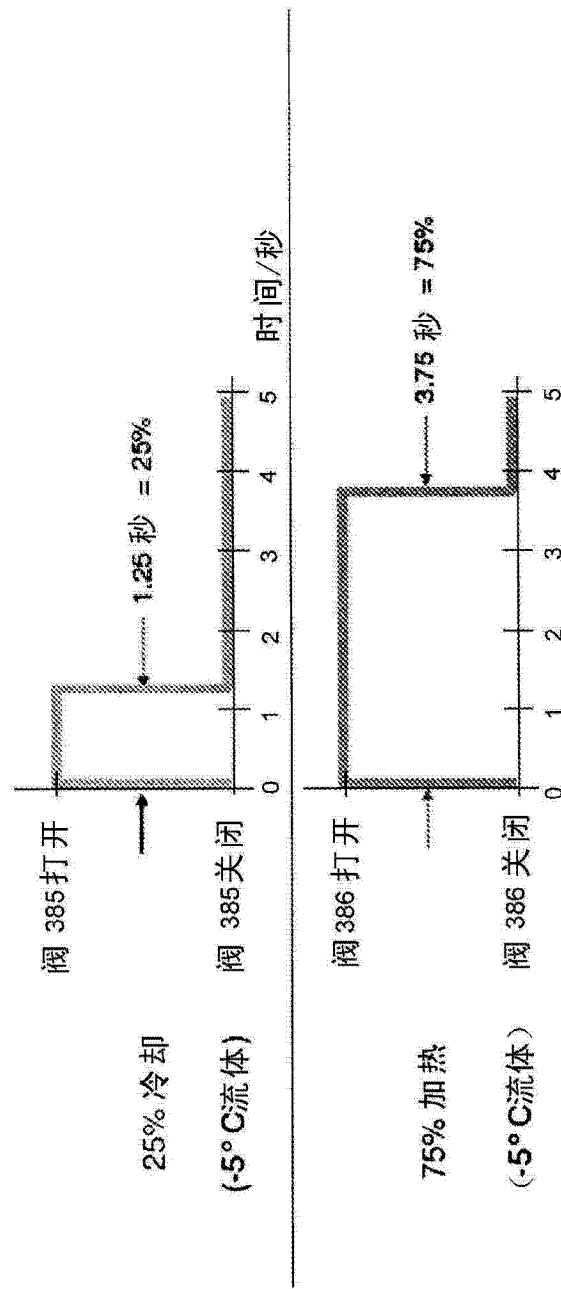


图 3D

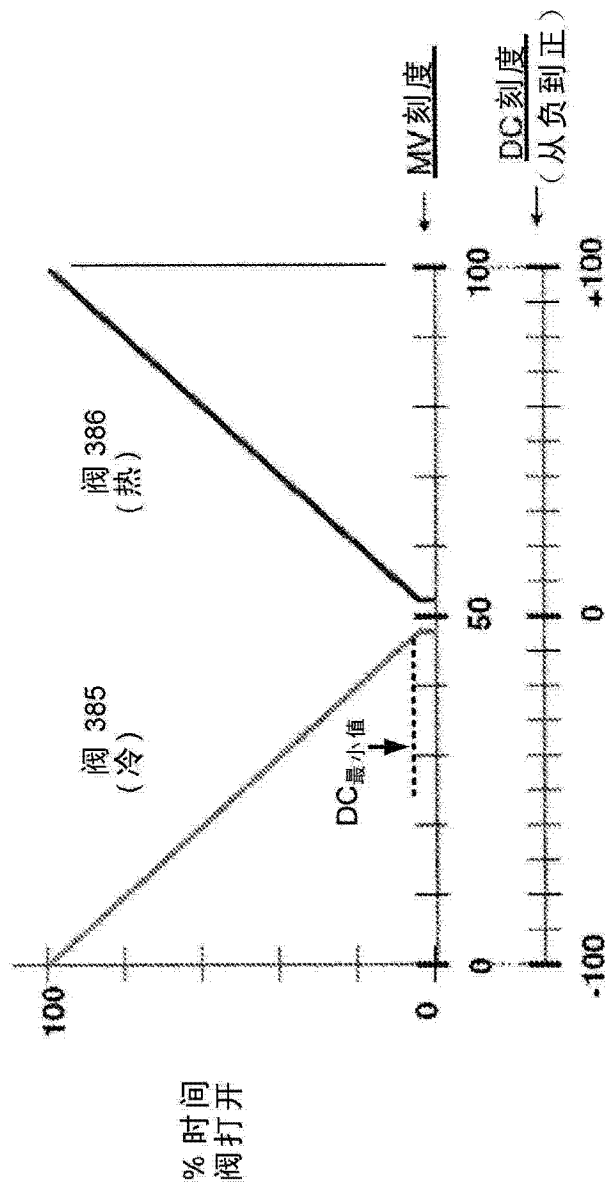


图 3E

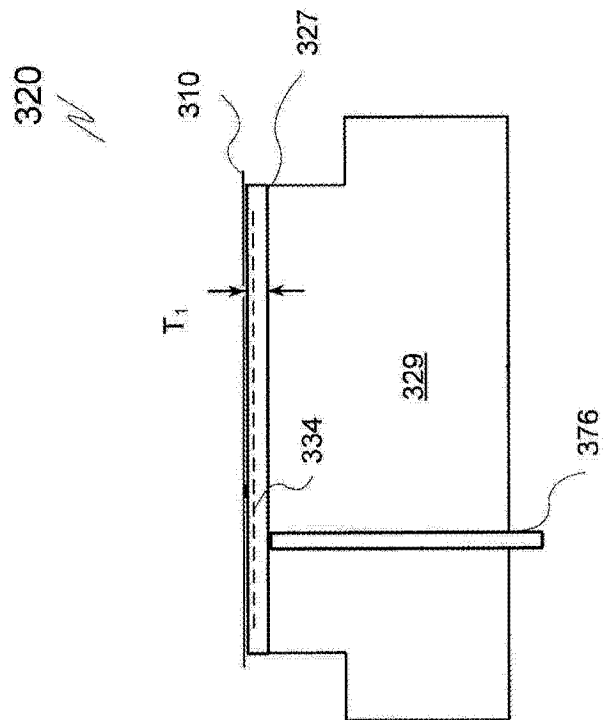


图 3F

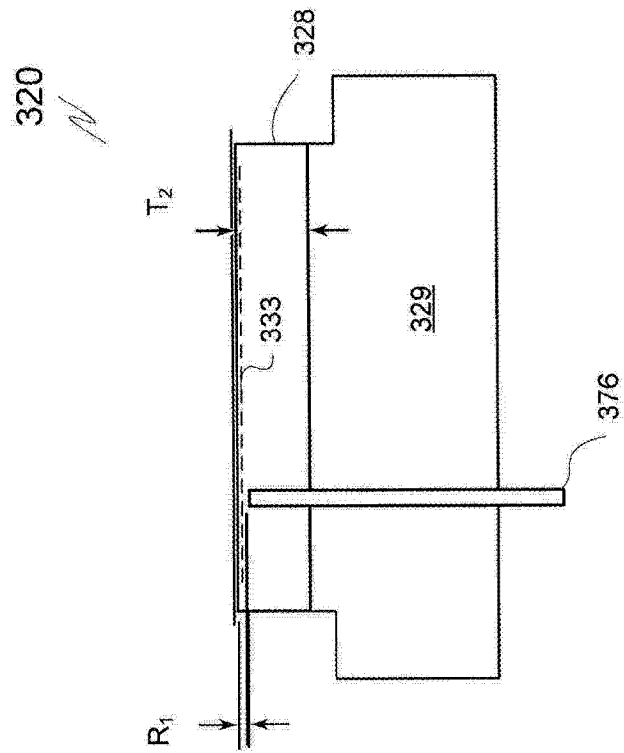


图 3G

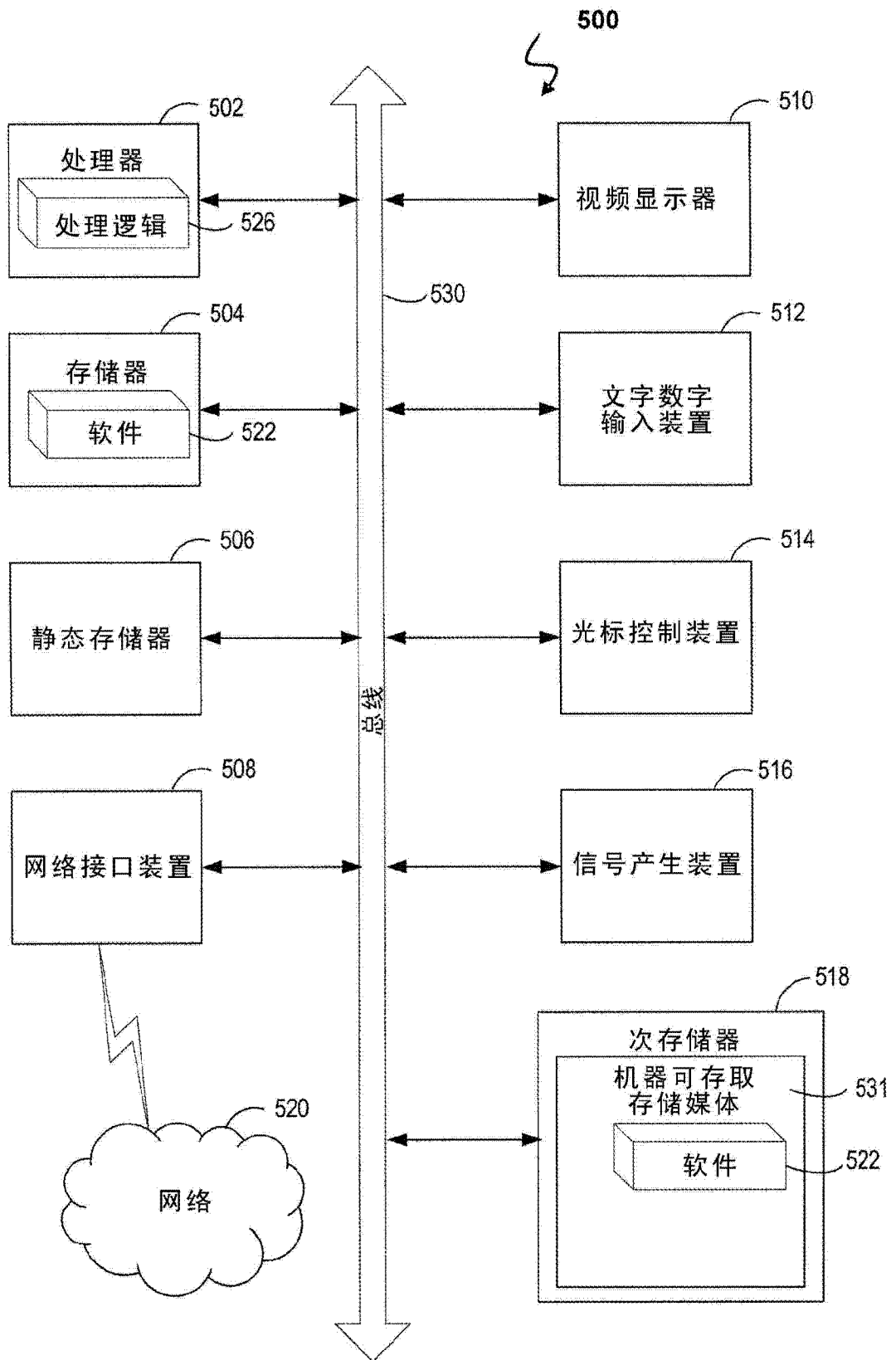


图 4